

上肢肢位変化が下腿部運動ニューロンに 及ぼす影響

EFFECTS OF POSTURAL CHANGES OF UPPER LIMBS ON REFLEX TRANSMISSION IN THE LOWER LIMB

笠 井 達 哉

Tatsuya KASAI

Abstract

The influence of passive changes in upper limb position (proprioceptive neuromuscular facilitation position for biceps and triceps brachii muscles; PNF) on the excitability of myotatic arc reflexes of the lower limb (right soleus muscle) has been explored on 20 healthy volunteer students (12 males and 8 females) by means of H-reflex testing.

The results indicate that the excitability of the myotatic arc can be influenced at a distance by postural modifications of the upper limb. When the ipsilateral upper limb is placed on PNF for triceps, an inhibition of soleus H-reflex is observed. However, when the contralateral upper limb is placed on PNF for triceps, a facilitation of soleus H-reflex is observed. This pattern of facilitation and inhibition is reversed when the upper limb is placed on PNF for biceps. And also, when the bilateral upper limbs are placed on both PNFs, only inhibitions are observed. It is considered that the facilitation as well as inhibition of soleus myotatic reflexes are qualitatively more effected by shoulder joint afferents than by biceps and triceps muscular afferents.

It is suggested that the distinct pattern of facilitation and inhibition which is exerted in reciprocal fashion on soleus H-reflex by different upper limb position changes might depend on the long propriospinal neurones connecting cervical and lumbar enlargements.

I. はじめに

運動を効率よく巧みに遂行するためには、それが上肢であれ下肢であれ相互に協調して働くこと

が重要である。そしてこの協調は、上下肢並びに左右肢の協調が基本である。ある運動の開始の早さについてこの上下肢ならびに左右肢の相互干渉作用が実際にどのように影響しあっているかをみ

てみると、上肢の随意的な構えの違いによって下肢の反応時間は影響をうける⁹⁾。また、この構えの違いはそうした構えをとった上・下肢そのものの運動の開始時間にも影響する^{10) 11)}。左右肢の相互干渉作用についても片側の随意的な構えの違いが対側の反応動作の開始に影響する²²⁾。そしてこれらの促通および抑制効果の神経生理学的機序についても検討されている^{18) 19)}。これら四肢間における相互干渉作用の中で上下肢の相互干渉作用は身体運動の巧みな遂行にとって特に重要である。実際、走運動の効果をみてみると上肢の有効な使い方が走る速さを決定する上で最も重要な要因であることがわかる¹²⁾。

こうした随意運動の遂行に伴う上下肢間および左右肢間における相互干渉作用の基礎をなす神経生理学的機序の究明は Sherrington 以来動物を使った脊髓反射の手法を使って精力的に行われてきた^{1) 2) 7) 8) 15) 16) 20) 21) 23) 24)}。これらの報告をみると上下肢の脊髓固有反射を惹起する神経回路網はたしかに存在することが証明されている。しかし、こうした反射回路網はヒトの随意運動の発現に際してはその運動の発現の根底に存在していてもそのままの形で発現するとは限らない¹³⁾。また、動物で認められた神経回路網がそのままヒトにおいても同様な機能の背景として存在しているという保障もない。最近 Meinck と Piestur-Strehlow は H 波と ENG の加算法を使って動物(主にネコ)ですでに証明されている上肢から下肢への神経回路網がヒトにおいても存在するか否かについて、そしてまたそれがヒトの運動機能にどのように寄与しているかということに関する報告を行っている¹⁷⁾。それによるとたしかにヒトにおいても上下肢間、特に上肢から下肢への神経回路網が存在している。しかしヒトにおいてはこの神経回路網はより上位の中枢から下行路を通して常に修飾を受けているという。

これらの事実は、上肢と下肢がある運動の遂行に際して密接な協調関係を保って機能していることを示しており、この協調が乱れる時随意運動の遂行にも乱れが生じるものと考えられる。ヒトの歩行における上下肢の筋放電パターンを詳細に分析した Fernandez—Ballesteros ら⁶⁾や

Basmajian³⁾の報告においてもその辺の事情を明確に示している。それでは、この上下肢間に存在する神経回路網はその機能的意義においてどのような仕組みになっているのであろうか。随意運動の効果的な遂行に際しての上下肢の協調といってもそんなに単純ではない。反応時間を使った固有感覚受容性神経筋促通法を使った上肢から下肢への効果を調べた結果では上下肢間の集団運動パターンは、促通効果として螺旋的・対角線的であることが特徴としてあげられている^{9) 14)}。これらの事実から本報告は、上肢の他動的な肢位変化により下肢伸筋(ヒラメ筋) H 波がどのような変化を示すかを調べた。この結果から、上肢と下肢が随意運動の遂行に際してどのような協応関係が存在するかという神経生理学的背景を検索しようとした。

II. 方 法

被験者は神経的疾患のない20名の健康な男女大学生(男子12名、女子8名、平均年齢20.8才)をわずらわした。

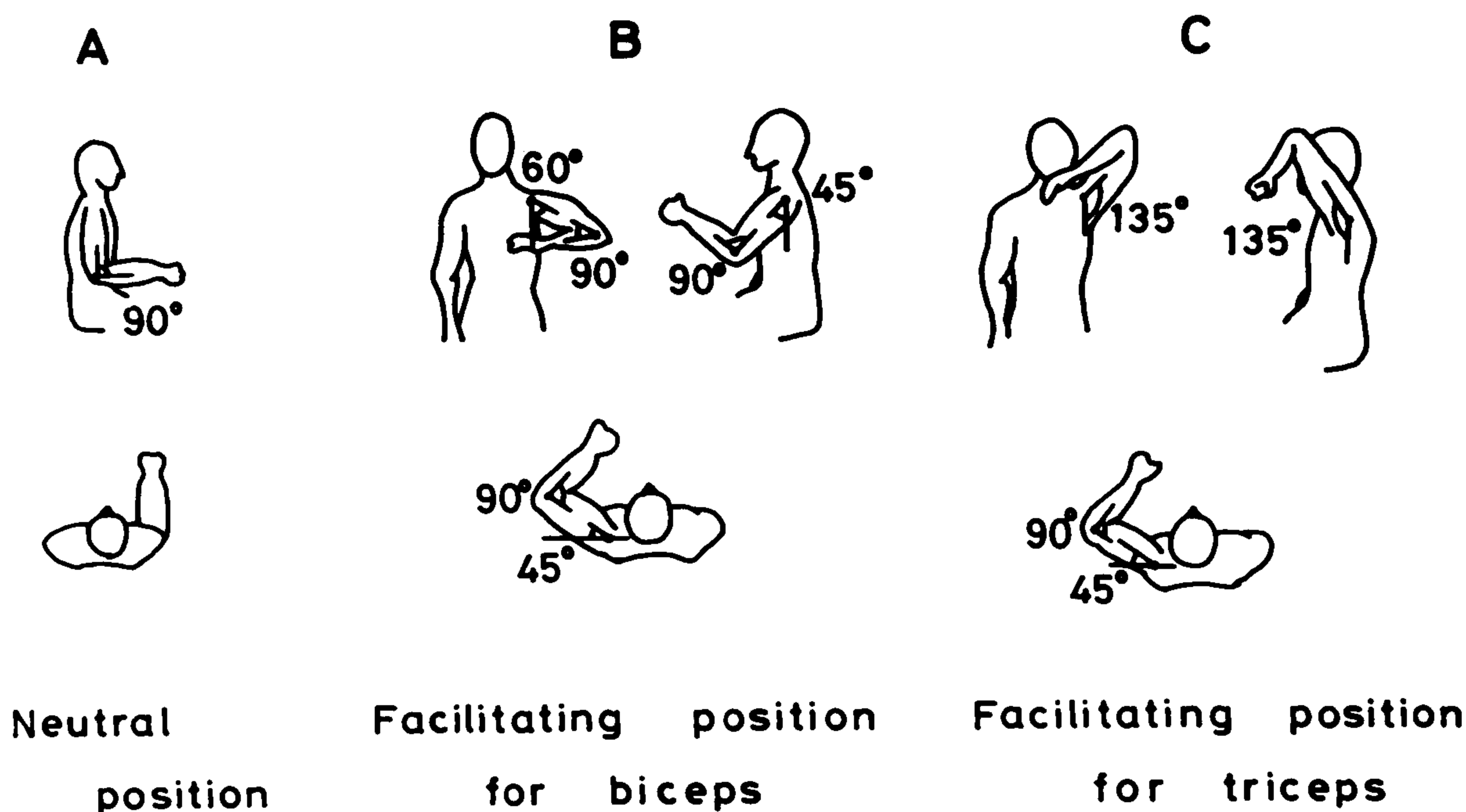
被験者を肘掛のついたイスに座らせ上肢による次の2つの促通肢位(proprioceptive neuromuscular facilitation position; PNF)を他動的にとらせその肢位で右下肢ヒラメ筋よりH波を記録した。①上腕二頭筋促通肢位(facilitating position for biceps: FB: 肩関節60°外転, 45°水平内転, 45°屈曲, 30°内旋, 肘関節90°屈曲)。これは機能的外転位(functional abduction)として知られた肢位である(図1のB)。②上腕三頭筋促通肢位(facilitating position for triceps: FT: 肩関節135°外転, 45°水平内転, 30°内旋, 肘関節90°屈曲: 図1のC)。この2つの促通肢位と平行して基本肢位(neutral or conventional position: N: 肩関節基本肢位, 上腕0°回旋, 肘関節90°屈曲: 図1のA)でH波を記録しこのH波をコントロールH波(100%)とした。このFBとFTの上肢肢位変化を左手、右手および両手で行わせた時のH波の変化をN肢位時のH波との比を求めた。

H波は常に右下肢ヒラメ筋から脛骨神経刺激点(膝下部)に1msecの矩形波を与えることから得た。この時刺激強度が常に一定であることの目安とし

てH波に先行してM波がその閾値の1.1~1.2倍で出現している状態でH波を記録した。コントロールのH波と上肢肢位変化時のテストH波の測定順序はN→FB（左）→N→FT（左）→N→FB（右）→N→FT（右）→N→FB（両手）N→FT（両手）→Nとした。これを各被験者について

（左上肢肢位変化で促通），同側方向へ抑制（右上肢肢位変化で抑制）的であった。また，両上肢同時の肢位変化では下肢ヒラメ筋に抑制的に作用し，しかも同側上肢による抑制よりも強く出現した。

図3は，上腕二頭筋促通肢位による下肢ヒラメ筋のH波の変化を図2と同様の手法によって示し



図一 I 基本肢位と促通肢位— A; 基本肢位, B ; 上腕二頭筋促通肢位, C ; 上腕三頭筋促通肢位

10セット行った。その結果，それぞれの上肢肢位変化によるH波は10回記録されその平均値をコントロールH波との比で求め，それを個人のその肢位での代表値とした。なお，H波はその peak to peak を計測した。

III. 結 果

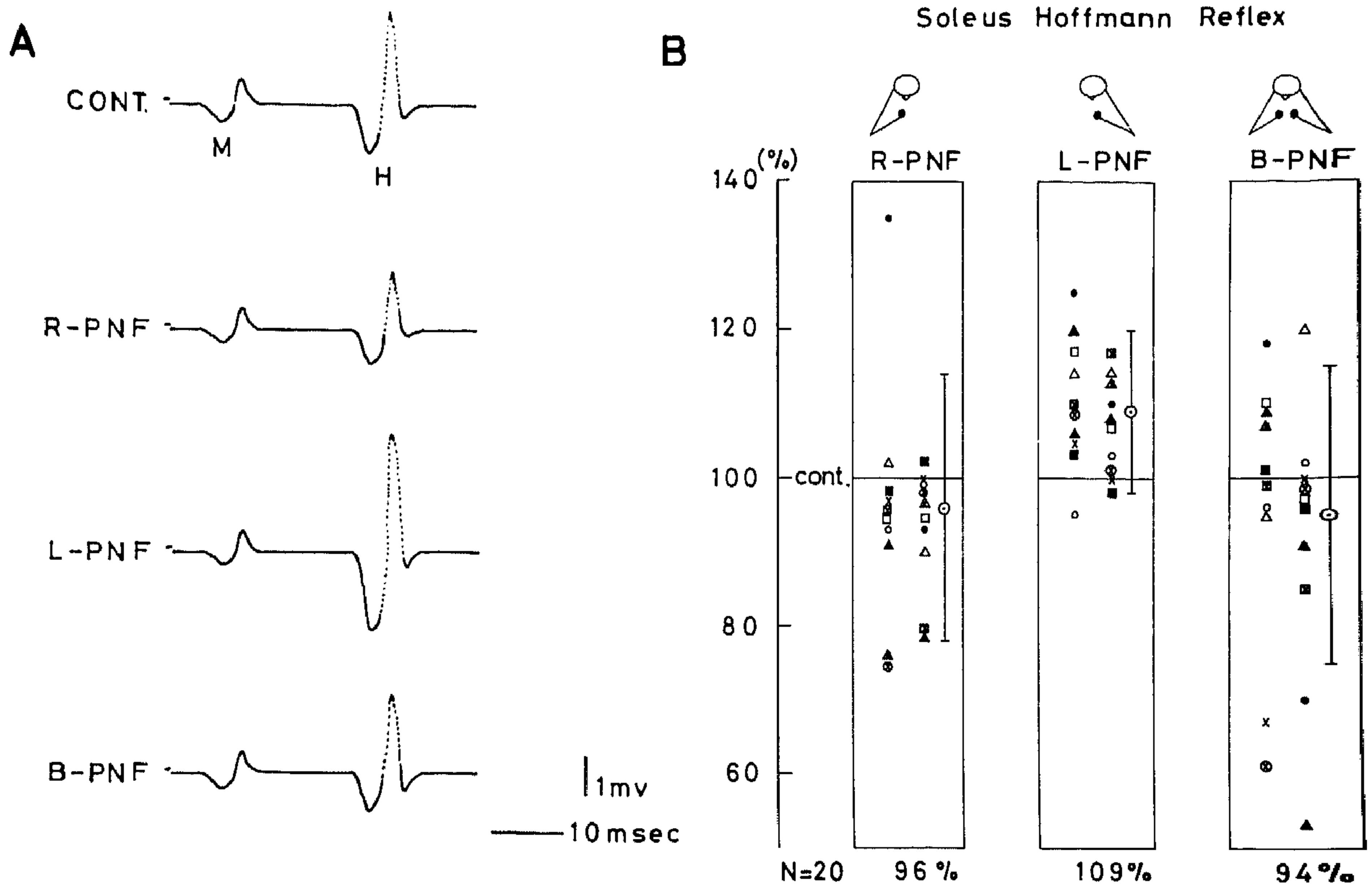
図2に上腕三頭筋の促通位変化による右下肢ヒラメ筋のH波の変化を基本肢位でのH波振幅を100%とした時の比で全被験者のものを示した(B)。図2のAは左右肢および両手の肢位変化によるH波の振幅変化の実際の記録例を示している。これより個人差はあるが，上腕三頭筋促通肢位による下肢ヒラメ筋への影響は対角線方向へ促通

たものである。これより上腕三頭筋促通肢位の場合の結果と同様個人差が著しかった。しかしその影響は同側方向において著名な促通効果（右上肢肢位変化で促通）の存在が認められた。しかし，左上肢の肢位変化においては被験者個人においてその効果が相反しており著明な効果は認められなかった。しかし，両上肢同時の肢位変化では上腕三頭筋促通肢位の場合と同様抑制効果が認められた。この結果は上腕二頭筋促通肢位による下肢ヒラメ筋への影響は，同側方向への効果としては上腕三頭筋促通肢位の場合と相反的であった。

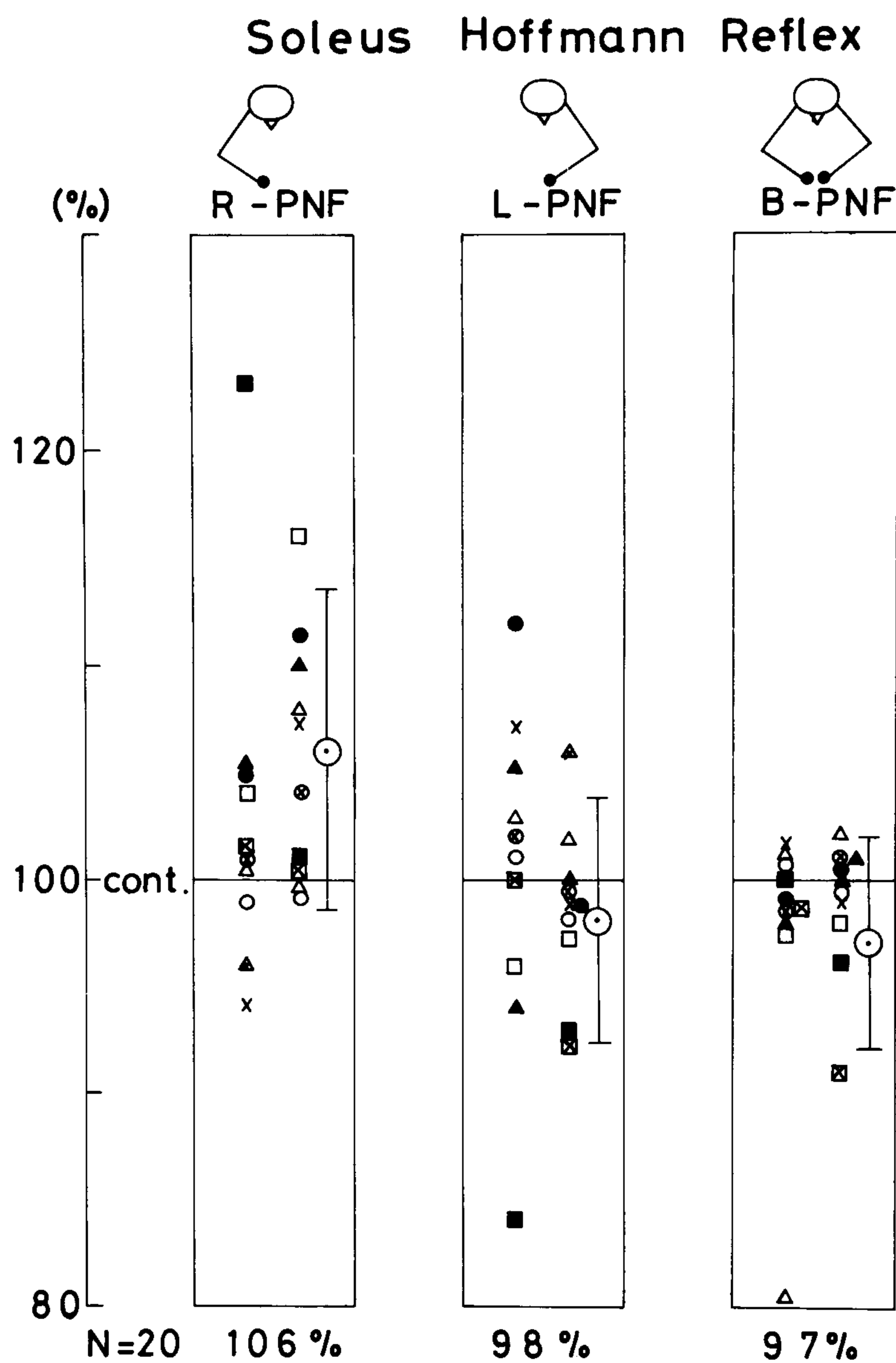
図4は図2と図3で示した上肢の肢位変化が下肢ヒラメ筋へおよぼす影響の結果をまとめて模式図的に示したものである。上肢の2つの肢位がそ

れぞれ上肢の伸筋（E）と屈筋（F）を促通しているとするれば，その促通効果をもたらす自己容性感覚情報は同時に長脊髓下行路（long descending

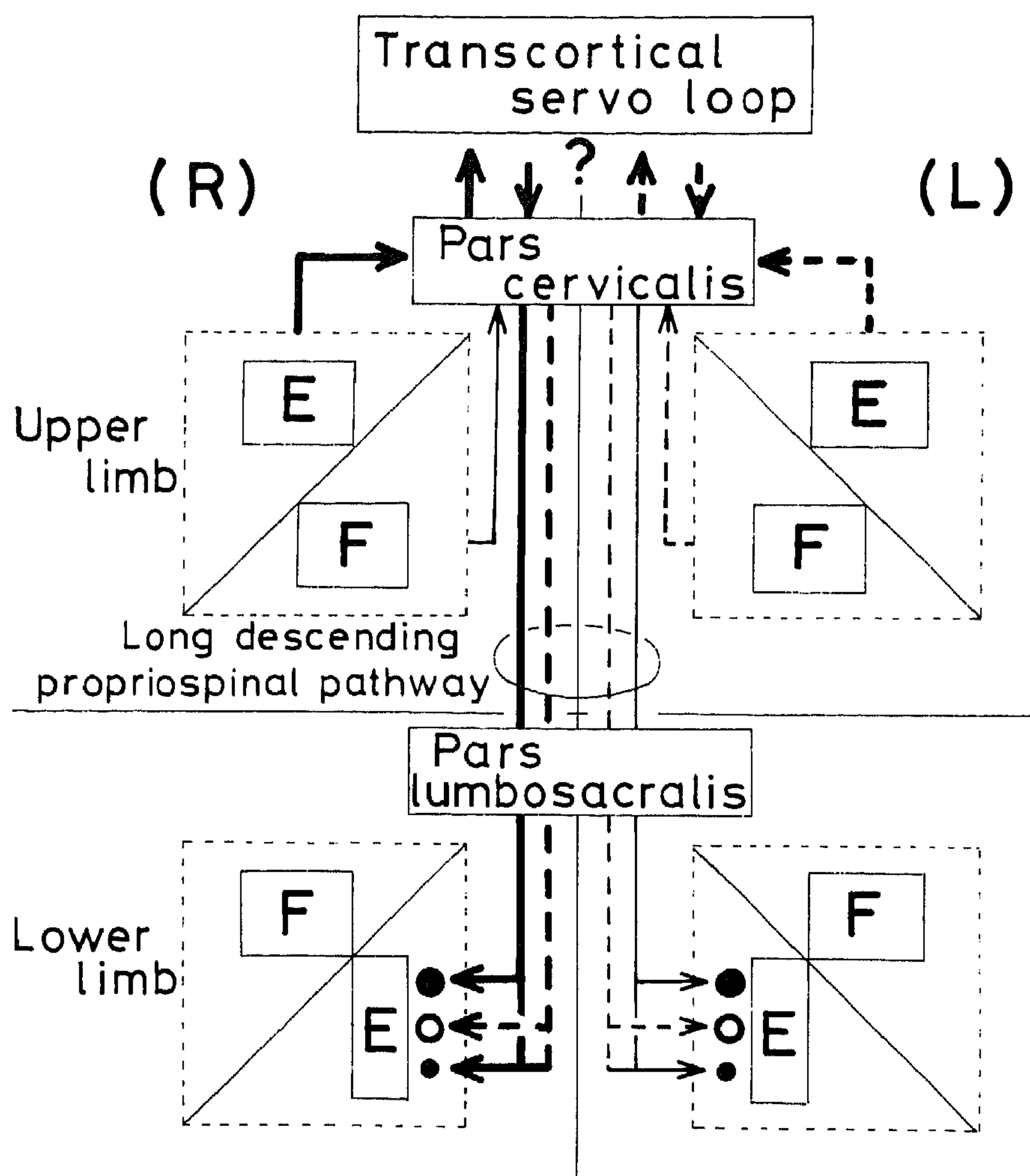
propriospinal pathway）を経て下肢のヒラメ筋（伸筋；E）へ促通あるいは抑制の効果を及ぼすことを示している。



図一2 上腕三頭筋促通肢位における下肢ヒラメ筋H波の変化 A；実際の記録例，cont.；コントロールH波，R-PNF；右上肢促通肢位，L-PNF，左上肢促通肢位，B-PNF；両上肢促通肢位，B；それぞれ3つの肢位変化時のH波の変化



図一3 上腕二頭筋促通肢位における下肢ヒラメ筋H波の変化，表示方法はすべて図2に同じ。



図—4 上肢肢位変化が下肢伸筋へおよぼす影響を示す模式図
F; 屈筋, E; 伸筋, R; 右側, L; 左側 ●印; 抑制,
○; 促通。上腕三頭筋 (E) 促通肢位の効果を左側 (太
い線) に, 上腕二頭筋 (F) 促通肢位の効果を右側 (細い
線) にまとめて示してある。

IV. 考 察

上肢肢位変化によって下肢ヒラメ筋から導出したH波がどのような変化を示すかを調べた。その結果, 上腕三頭筋促通肢位では下肢伸筋に同側では抑制, 対側では促通の効果があることがわかった。また, 上腕二頭筋促通肢位では対側方向への効果は明らかではなかったが, 同側方向では上腕三頭筋促通肢位での効果と相反して促通効果が認められた。また, 両方の肢位変化で共通に認めら

れた効果として, 両上肢同時の肢位変化では抑制効果が下肢ヒラメ筋に及ぶということであった。これらの結果を1つは脊髓固有下行路という神経生理学的側面から, もう1つは上肢と下肢の協応という機能的側面から考えるとどのようなことが考えられるであろうか。

MeinckとPiesiur-Strehlowは, 上腕神経 (brachial nerve) を電気刺激して上肢から下肢への long loop reflex の存在を調べ報告している¹⁷⁾。

それによると上腕神経の電気刺激により EMG 加算法では、早い抑制効果とそれに続く促通効果が認められたが H 波は促通効果のみが認められた。そしてその入力側の影響の違いについて調べてみると、同側と対側からの刺激入力の違いによっても H 波の明確な違いは認められなかった。そして脊髄背部 (C₄と T₉の部分) から経皮的に電気刺激したところ、早い抑制効果とそれに続く促通効果の現われる潜時が変化し短くなった。このことから、上肢から下肢への long loop reflex は直接および長い脊髄下行路によって修飾をうけているという。

また Delwaide らは^{4) 5)} 上肢肩関節の伸展・屈曲の肢位変化によって下肢筋 (ヒラメ筋, 大腿四頭筋, 大腿二頭筋) を支配する運動ニューロン群の興奮性がどのように変化するかについて報告している。その中でヒラメ筋の興奮性変化について注目してみると、同側上肢の屈曲 (前方への挙上) かあるいは対側上肢の伸展 (後方への挙上) によってヒラメ筋 H 波は促通された。この促通と抑制を惹起する上肢の伸展と屈曲を逆転して行くとその効果も逆転した。しかし、この効果は上肢の屈曲・伸展の角度の変化によっては著明な違いは認められなかった。そして、この効果は遠位関節筋 (ヒラメ筋) よりも近位関節筋 (大腿四頭筋と大腿二頭筋) においてより効果が大きかった。これらのことは伸筋と屈筋という相反的な筋の活動に依存して、上肢から下肢への促通と抑制の効果が異なって現われることを示しており、これらの効果を惹起する系は、頸部と腰部を結ぶ長脊髄固有ニューロンによると考えられる。

これらの報告から考えて本実験結果は上肢から下肢への長脊髄固有反射経路の存在を支持するものである。しかし、それは右左上肢から左右下肢へ同じ効果をおよぼすというものではない。また、上肢の肢位変化つまり上肢の固有感覚から入ってくる入力の違いによって下肢へも異った影響をおよぼすということを示している。それは、上肢伸筋 (上腕三頭筋; 肩関節からの入力も含めて) からの入力情報は、同側の下肢伸筋には抑制、対側には促通効果を及ぼし、すでに筆者が反応時間で報告した結果を支持するものであった⁹⁾。これは

機能的には歩行における上下肢の協応動作の神経生理学的機序を示す結果であると考えられる。

一方上肢屈筋 (上腕三頭筋の場合と同様肩関節からの入力も含めて) からの入力情報は、伸筋の場合と違って同側下肢に促通効果をおよぼしていた。これは上肢伸筋の場合と相反的であった。この事実の背景として上肢屈筋から対側下肢への影響は促通と抑制が各被験者間で相半ばし (図 3 参照), 上肢伸筋の促通肢位に比べて屈筋の促通肢位は肩関節の位置が基本肢位に類似してそこからの入力情報は伸筋の促通肢位に比べて格段に少ない。この事実から考えて、上肢の肢位変化 (PNF 肢位) による下肢伸筋への影響は、近位関節 (肩関節) からの入力に依存した長脊髄固有下行路によって惹起し対側方向に促通、同側方向に抑制効果をおよぼす神経回路網であることが示唆される。そしてこの神経回路網に依存して両上肢から同時に入力があった場合 (両上肢同時の肢位変化) 促通効果と抑制効果が相殺されるわけであるが、本実験結果では肢位変化の違いに関係なく常に抑制効果が強く現われた。このことから、上肢から下肢への同側方向の抑制効果の方が対側方向への促通効果より強力であることがわかる。この事実は上肢の位置 (構え) 変化が下肢筋の筋出力など、下肢の運動に強く影響をおよぼすという実際の運動場面における事実とよく一致している。

本実験結果から、実際の四肢の協応による身体運動を行うに際しその効果を高めるためには、すでに走運動における上肢の使い方の重要性を指摘したように¹²⁾ 上肢の上手な使い方 (構え, 位置など), つまり良いフォームや理想的な構えと言われているものが神経生理学的事実とどれだけよく対応しているかを常に考えておく必要性のあることが示唆される。

V. ま と め

上肢の肢位変化によって下肢ヒラメ筋の H 波がどのように変化するかを調べた。その結果、上肢の肢位変化に伴う肩関節からの自己受容性感覚入力を中心となって対角線方向に促通、同側方向に抑制効果がおよぶことがわかった。これは実際の四肢を使って行う身体運動 (走行や歩行など) の

神経生理学的機序を示すもので、そこには動物実験の結果から古くから指摘されてきた長脊髓固有反射 (long propriospinal reflex) がヒトにおいても明確に存在し機能していることが示唆された。

文 献

- 1) Abrahams, V. C. and Falchetto, S.; Hind leg ataxia of cervical origin and cervico-lumbar spinal interactions with a supratentorial pathway. *J. Physiol.*, 203; 435-447, 1969.
- 2) Abrahams, V. C.; Cervico-lumbar reflex interactions involving a proprioceptive receiving area of the cerebral cortex. *J. Physiol.*, 209; 45-56, 1970.
- 3) Basmajian, J. V.; *Muscle alive: Human locomotion*. Baltimore, 1978, pp. 295-317.
- 4) Delwaide, P. J., Figiel, C. and Richelle, C.; Influence de la position du membre superieur sur l'excitabilite de l'arc soleaire. *Electromy. clin. Neurophysiol.*, 13; 515-523, 1973.
- 5) Delwaide, P. J., Figiel, C. and Richelle, C.; Effects of postural changes of the upper limb on reflex transmission in the lower limb. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 40; 616-621, 1977.
- 6) Fernandez-Ballesteros, M. L. F., Buchthal, F. and Rosenfalck, P.; The pattern of muscular activity during the arm swing of natural walking. *Acta physiol. scand.*, 63; 296-310, 1965.
- 7) Gernandt, B. E. and Magirian, D.; Ascending propriospinal mechanisms. *J. Neurophysiol.*, 24; 364-376, 1961.
- 8) Gernandt, B. E. and Shimamura, M.; Mechanisms of interlimb reflexes in cats. *J. Neurophysiol.*, 24; 665-676, 1961.
- 9) 笠井達哉, 長塚友恵, 古海秀子; 上肢屈曲, 伸展の構えが下肢底屈反応時間におよぼす影響, *体育の科学*, 32; 229-232, 1982.
- 10) 笠井達哉; 下肢肢位変化による反応時間とH波の変化, *体育学研究*, 26; 129-135, 1981.
- 11) 笠井達哉; 上肢肢位変化による反応時間の変動量. 国士舘大学体育学部紀要, 7; 57-62, 1981.
- 12) 笠井達哉; 走における腕振り動作の効果. 国士舘大学体育研究所報, 2; 61-66, 1982.
- 13) 笠井達哉; 緊張性頸反射に関する研究. 国士舘大学体育学部紀要, 7; 47-56, 1981.
- 14) Knott, M. and Voss, D. E.; *Proprioceptive neuromuscular facilitation-patterns and techniques*. Haper & Row, 1968.
- 15) Lloyd, D. P. C.; Mediation of decending long spinal reflex activity. *J. Neurophysiol.*, 5; 435-458, 1942.
- 16) Lloyd, D. P. C. and McIntyre, A. K.; Analysis of forelimb-hindlimb reflex activity in acute decapitate cats. *J. Neurophysiol.*, 11; 455-470, 1948.
- 17) Meinck, H. -M. and Piesiur-Strehlow, B.; Reflexes evoked in leg muscles from arm afferents: A propriospinal pathways in man? *Exp Brain Res.*, 43; 78-86, 1981.
- 18) Nakamura, R. and Viel, E.; The influence of position changes in the human extremity. *Proc. WCP. 7th Congress, Montreal, Canada, June*, 119-123, 1974.
- 19) Nakamura, R., Taniguchi, R., Narabayashi, H. and Yokochi, F.; Postural dependence of reaction time after a VL thalamotomy. *Appl. Neurophysiol.*, 42; 325-334, 1979.
- 20) Schomburg, E. D., Meinck, H. -M. and Haustein, J.; A fast propriospinal inhibition pathway from forelimb afferents to motoneuroes of hindlimb flexor digitorum longus. *Neuroscience Letters*, 1; 311-314, 1975.
- 21) Schomberg, E. D., Meinck, H. -M., Haustein, J. and Roesler, J.; Functional organization of the spinal reflex pathways from forelimb afferents to hindlimb motoneurons in the cat. *Brain Res.*, 139; 21-33, 1978.
- 22) 関博之, 笠井達哉; 片側肢の構えの違いが対側肢の反応時間に及ぼす影響—上肢および下肢について—, *スポーツ心理学研究*, 9; 33-34, 1982.
- 23) Sherrington, C. S.; Flexion reflex of the limb, crossed extension reflex and reflex stepping in standing. *J. Physiol.*, 40; 28-121, 1910.
- 24) Shimamura, M. and Livingston, R. B.; Longitudinal conduction systems serving spinal and brainstem coordination. *J. Neurophysiol.*, 26; 258-272, 1963.